

УДК 621.791.042

С. В. Прудников

ЗАО «Фирма ТАС»,

г. Москва

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТНОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

В работе предложен подход к оценке эффективности ремонтной сварки и наплавки с точки зрения сокращения потерь от простоя оборудования. Современные материалы позволяют снизить внесение тепла при ремонтной сварке деталей. Предложено использовать материалы, позволяющие уменьшить температуру предварительного подогрева основного металла, и упрочняемые в процессе работы за счёт рабочего наклёпа.

Ключевые слова: ремонтная сварка, наплавка, рабочий наклёп, ремонт толстостенных стальных деталей, сварка чугуна, износостойкость.

S. V. Prudnikov

MODERN APPROACH METHODS, TECHNOLOGIES AND CONSUMABLES FOR REPAIRING WELDING AND OVERLAYING

Enclosed article proposes to estimate the efficiency of repairing welding and overlaying comparing those charges with production downtime losses. Modern welding consumables reducing the heat input in base metal during repairing welding. The author proposed to use work-hardening welding consumables, also reducing pre-heating temperature of base metal.

Keywords: repairing welding, overlaying, work-hardening, steel heavy sections repairing, cast iron welding, wear resistance.

Современное промышленное предприятие – это, как правило, сложный комплекс дорогостоящего металлоёмкого оборудования. Безусловно, что пределом несбыточных мечтаний владельцев такого предприятия является безостановочная длительная работа всего комплекса со стабильным качеством выпускаемого продукта. Однако осуществлению этой мечты мешает износ оборудования, и, как следствие, в лучшем случае, выход параметров качества выпускаемой продукции за допустимые пределы. В худшем случае – аварийный останов производства. Решением данной проблемы является организация работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР).

В этих условиях современные технологии и сварочные материалы ремонтной сварки находят своё применение, как правило, в аварийных случаях. Это когда убытки от остановки производства, по прежнему, не поддаются точному учёту, но могут быть характеризованы как «огромные».

Для примера можно привести ремонт компрессора сжатия аргона на одном из предприятий России по выпуску минеральных удобрений. Основной металл чугун (рис. 1).

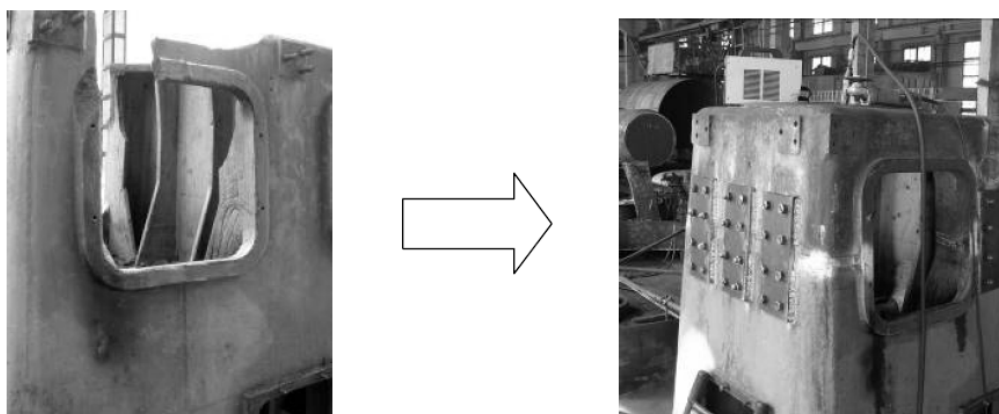


Рис. 1

Приобрести новый компрессор было невозможно – предприятие изготовитель ликвидировано. После ремонта появилась возможность вновь запустить в работу целое производство после двух лет простоя: аргон высокой чистоты для нужд атомной энергетики.

С чего же начинать такую работу и с помощью каких технологий и материалов – данный вопрос и является предметом настоящего доклада. Разумеется, здесь нет комплексного ответа на вопрос, а лишь затрагиваются некоторые аспекты проблемы.

Прежде всего, необходимо сформулировать основные положения ремонтной сварки и её принципиальные отличия от обычной конструкционной сварки. При этом мы пока рассматриваем дефект типа «трещина».

1. Ремонт необходимо, как правило, осуществить оперативно для снижения времени простоя оборудования. При этом характеристики основного металла ремонтируемой детали часто являются недоступными. Механик может, в лучшем случае, определить тип основного металла: сталь, чугун, цветные металлы на основе меди или алюминия.

2. Даже если химический состав основного металла досконально известен, то традиционный подсчёт углеродного эквивалента даёт необходимую температуру предварительного подогрева. Физически это может быть реализовано только на машиностроительном предприятии, имеющем печное оборудование необходимых габаритов.

3. Распространённый подход к ремонтной сварке состоит в следующем: это мера временная, поэтому сварку надо сделать как-нибудь, а снабженцам быстро искать запасную часть. Предлагаемый нами подход состоит в следующем – ремонтная сварка должна обеспечить полную работоспособность детали, не ниже срока службы запасной части, а возможно и более того.

4. Технология и сварочно-технологические свойства применяемых сварочных материалов должны обеспечивать минимальное внесение тепла в деталь для исключения её коробления и изменения базовых размеров.

5. Требование минимального внесения тепла не исключает внимания к производительности сварочных работ. Это позволит сократить время простоя.

Рассмотрим применение данного подхода на конкретном примере. Пусть это будет гидравлический цилиндр пресса, изготовленный из Стали 35Л с толщиной стенки до 150 мм. С точки зрения сварки – материал 3 группы, ограниченно свариваемый. Требуется предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 350°C , термообработка после сварки 650°C . Проведение сварочных работ внутри нагретого цилиндра невозможно (рис. 2).

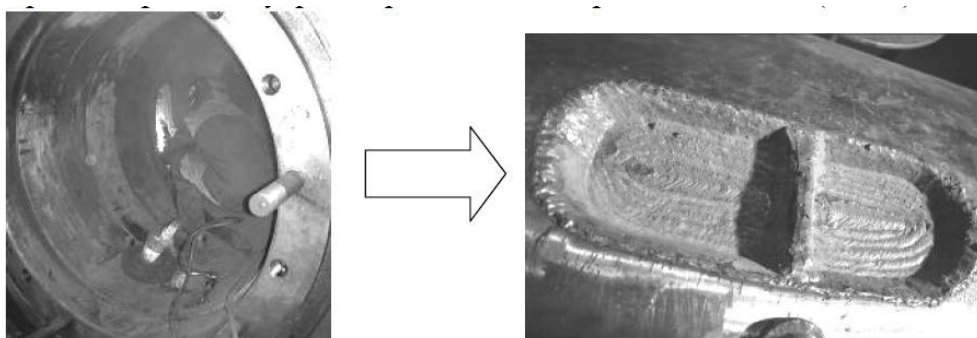


Рис. 2

Таким образом, требования по предварительному подогреву детали выполнить невозможно. Однако задачи 100 % работоспособности после ремонта никто не отменял. И эта задача была решена с помощью следующих технологических приёмов.

1. Ключевым параметром, позволяющим снизить температуру предварительного подогрева, и, как следствие, уменьшить риск образования холодных трещин, является содержание растворённого водорода по переходной зоне основной/наплавленный металл не более 4 мл на 100 г наплавленного металла. Для этого при сварке первого (облицовочного) слоя используются сварочные материалы с основной обмазкой.

2. Применение сварочных материалов на основе никеля позволяет снизить внесение тепла в деталь при сварке минимум на 30 %.

3. Сварочные напряжения. Поскольку ведётся сварка массивной конструкции, то её тепловая деформация после каждого прохода сварочным электродом может не приниматься в расчёт. Тогда все сварочные (сжимающие) напряжения возникают исключительно при охлаждении и усадке сварного шва. Применение сварочных материалов, легированных марганцем на уровне не менее 6% позволяет эффективно использовать приём проковки. Для таких материалов даже после полного остывания при проковке сварного шва происходит его интенсивная деформация и повышение прочностных характеристик – так называемый «рабочий наклёп». Он может быть characterized повышением твёрдости со 180 HB в состоянии наплавки до 420 HB после интенсивного наклёпа. Это приводит к формированию в сварном шве растягивающих напряжений, противоположных напряжениям, возникающим при усадке.

4. Механические характеристики сварного шва, приведённые для сравнения в прилагаемой Таблице 1, повышают надёжность работы детали.

Наплавленный металл имеет предел текучести на уровне основного металла, а предел прочности выше при существенно большем коэффициенте удлинения. Трещина возникла в том месте, где нагрузка превысила расчётный предел прочности. Наплавленный металл повысил прочностные характеристики детали в критическом сечении.

Таблица 1

Механические характеристики	Сталь 35Л	Сабарос ME 122
Предел текучести МПа $\sigma_{0,2}$	350	380
Предел прочности МПа σ_b	550	650
Относительное удлинение δ_5 %	20	40

По предлагаемой технологии за прошедшие двадцать лет отремонтированы десятки рабочих цилиндров тяжелых гидравлических прессов [1], станин прокатных станов, тормозных барабанов шахтных подъёмных машин. Все ремонты выполнены с первого раза без переделки. Продлён срок службы дорогостоящих деталей. Гарантийные сроки работы изделий были полностью выдержаны.

Вторым важным вопросом, который решается при организации работ по ТОиР, является выбор технологии и сварочных материалов для наплавки. Для определения температуры предварительного подогрева детали метод традиционного подсчёта углеродного эквивалента уже не подходит. Необходим анализ термо-кинетической диаграммы превращения аустенита при охлаждении основного металла.

В таблице 2 приведены параметры термо-кинетических диаграмм для различных общепромышленных металлов.

В соответствии с данной таблицей при наплавке детали из Ст. 45 достаточно удерживать основной металл выше температуры 350 °С всего лишь в течение 3 с. Это может быть решено за счёт ограниченного предварительного подогрева детали и выбора параметров наплавки для использования режима автоподогрева.

Другой задачей наплавки является выбор сварочного материала. Каталоги предлагают их великое множество как гомогенные (однородные по химическому составу с основным металлом), так и гетерогенные – отличающиеся по своим характеристикам. Однако, если мы будем при гомогенной наплавке следовать указанной выше процедуре, то при замедленном охлаждении наплавленного металла мы получим частично

аустенитную структуру с достаточно низкими прочностными характеристиками. Это потребует дополнительной процедуры термообработки изделия перед передачей потребителю.

Таблица 2

№ п/п	Марка стали	Температура начала мартенситного превращения, °С	Время инкубационного периода перлитного распада аустенита при температуре начала мартенситного превращения, с
1	30Г	370	4
2	35Х	340	25
3	45	350	3
4	65	280	200
5	65Г	270	150
6	75	230	600

Выход, на наш взгляд, в использовании хромомарганцевых наплавочных материалов, обладающих существенным холодным рабочим наклёпом. Исходная твёрдость после наплавки 240 НВ (что в пересчёте соответствует пределу прочности 820 МПа) в процессе рабочего наклёпа увеличивается до 50HRC, что в пересчёте соответствует пределу прочности 1630 МПа.

При использовании этого подхода для наплавки крановых колёс из стали типа 65Г [2] был осуществлён предварительный подогрев до температуры 100°С, наплавка самозащитной проволокой диаметром 2,8 мм, сварочный ток 400 А, сварочное напряжение 30 В. Скорость наплавки 20 см/мин. После обработки резцом произошёл частичный наклёп наплавки и повышение твёрдости до 32–35HRC. После начала работы произошёл интенсивный наклёп покрытия до твёрдости порядка 48-50HRC, что соответствует прочностным характеристикам основного металла Сталь 65Г после закалки и отпуска.

Микроструктурное исследование [2] переходной зоны наплавленного металл/основной металл (рис. 4) показало, что микрорельеф на линии сплавления имеет зубчатую траекторию сплавления с затеканием жидкотекучего аустенитного металла по границам зёрен.



Рис. 4

Это препятствует отрыву наплавки. Наплавка же перлитной проволокой типа 30ХГСА имеет линейную траекторию сплавления, обогащённую карбидами.

Экономический эффект от этого – полное восстановление прочностных характеристик детали при затратах на восстановление не более 25-30% от стоимости новой детали.

Область применения наплавочных материалов хромомарганцевого типа очень широка:

- это практически любое применение, где в настоящее время применяется проволока типа 30ХГСА (не говоря уже о проволоке типа СВ08ГА).
- это замена наплавки нержавеющей проволокой под керамическим флюсом.
- версия наплавочного электрода хромомарганцевого типа является удачной заменой традиционной наплавки электродами типа ЦН-6.

Другими эффективными применениями хромомарганцевых наплавочных материалов являются: крановые и железнодорожные колёса, плунжера гидравлических прессов, все транспортные ролики прокатных станов с контактной температурой металла до 800 °С, стрелочные переводы и т. д.

Выводы:

1. Оценку эффективности технологии ремонтной сварки следует проводить на основе комплексного технико-экономического анализа, включающего учёт не только стоимости сварочных материалов, но и потерь от простоя оборудования в стоимости невыпущенной продукции.

2. Деталь любой толщины, изготовленная из стали ограниченной свариваемости, может быть полностью отремонтирована при условии ограниченного предварительного подогрева и без последующей термообработки.

3. Выбор режимов предварительного подогрева при наплавке следует проводить на основе анализа термо-кинетической диаграммы основного металла. Основными параметрами при этом являются: температура начала мартенситного превращения и время инкубационного периода перлитного распада аустенита.

4. Применение для наплавки хромомарганцевых сплавов позволяет получить на границе основной/наплавленный металл аустенитную пластичную структуру. Контактная поверхность наплавленной детали в результате холодного рабочего наклёпа имеет высокие прочностные характеристики.

Список литературы

1. Установление причин разрушения и восстановления сваркой донной части главных цилиндров мощных гидравлических прессов / С. А. Королев [и др.] // Неделя металлов в Москве (13–17 ноября 2006 г.) : сборник трудов конференций и семинаров. – М, 2007.

2. Якушин Б. Ф., Сударев А. В., Прудников С. В. О преимуществах хромомарганцевых наплавочных материалов для восстановления деталей рельсового транспорта // Ремонт, восстановление, модернизация. – № 1. – 2011.